

Band-pass filter and duplexer incorporating thin-film bulk acoustic resonators (FBARs)

Patent Number: ☐ [EP1058383, A3](#)
Publication date: 2000-12-06
Inventor(s): LARSON III JOHN D (US); BRADLEY PAUL D (US); RUBY RICHARD C (US)
Applicant(s): AGILENT TECHNOLOGIES INC (US)
Requested Patent: ☐ [JP2001024476](#)
Application Number: EP20000111389 20000526
Priority Number(s): US19990324618 19990602
IPC Classification: H03H9/58
EC Classification: [H03H9/58](#)
Equivalents: ☐ [US6262637](#)
Cited Documents: [EP0880227](#); [DE19531996](#); [US5294862](#)

Abstract

A band-pass filter comprising shunt elements and series elements in which the series elements and the shunt elements are connected to form a ladder circuit, and each of the elements includes a film bulk acoustic resonator (FBAR). An FBAR-based duplexer comprises a first port, a second port, a third port, a first FBAR-based band-pass filter as just described connected between the first port and the third port and a series circuit connected between the second port and the third port. The series circuit includes a

90 DEG phase shifter in series with a second FBAR-based band-pass filter as just described. 

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2001-24476

(P 2001-24476 A)

(43) 公開日 平成13年1月26日 (2001. 1. 26)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 3 H	9/70	H 0 3 H	9/70
	9/25		9/25
H 0 4 B	1/50	H 0 4 B	1/50
			A

審査請求 未請求 請求項の数 1

O L

(全 1 4 頁)

(21) 出願番号 特願2000-160387 (P2000-160387)
(22) 出願日 平成12年5月30日 (2000. 5. 30)
(31) 優先権主張番号 09/324618
(32) 優先日 平成11年6月2日 (1999. 6. 2)
(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 399117121
アジレント・テクノロジーズ・インク
AGILENT TECHNOLOGIES, INC.
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ペーリ・ミル・ロード 395
(72) 発明者 ポール・ディー・ブラッドリー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州, マウンテン・ビュー (番地なし)
(74) 代理人 100105647
弁理士 小栗 昌平 (外4名)

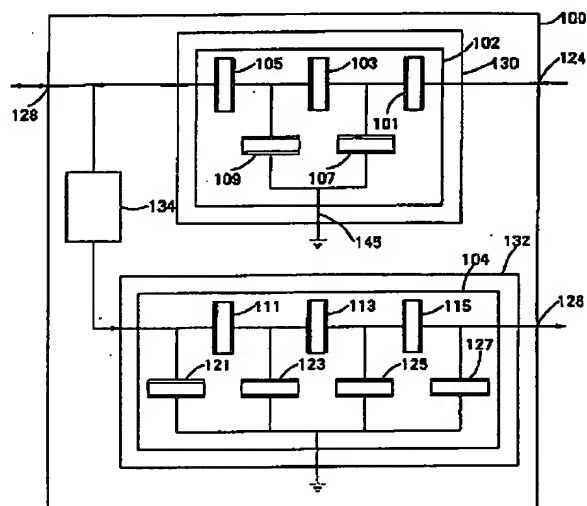
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送受切替器

(57) 【要約】

【課題】 1ワットを超える電力レベルによって送受切替器の信頼性又はフィルタ特性の安定性が損なわれない十分に急峻なフィルタ特性を備え、個別同調を必要としない小型化された送受切替器を提供する。

【解決手段】 本発明は、第1のポート、第2のポート、第3のポート、第1のポートと第3のポートとの間に接続された第1の帯域フィルタ及び第2のポートと第3のポートとの間に接続された直列回路を含むF B A Rベースの送受切替器を提供する。第1の帯域フィルタには分路素子及び直列素子を備えた第1の梯子型回路が含まれている。第1の梯子型回路の素子には、それぞれ薄膜バルク音波共振器が含まれている。直列回路には、第2の帯域フィルタと直列をなす90° 移相器が含まれている。第2の帯域フィルタには分路素子及び直列素子を備えた第2の梯子型回路が含まれている。第2の梯子型回路の素子にはそれぞれF B A Rが含まれている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】第 1 のポート、第 2 のポート及び第 3 のポートと、

前記第 1 のポートと前記第 3 のポートとの間に接続され、分路素子及び直列素子を備えた第 1 の梯子型回路を含んでおり、前記素子のそれぞれに薄膜バルク音波共振器 (FBAR) が含まれている第 1 の帯域フィルタと、前記第 2 のポートと前記第 3 のポートとの間に接続され、第 2 の帯域フィルタと直列をなす 90° 移相器を備える直列回路と、を備え、

前記第 2 の帯域フィルタが、分路素子及び直列素子を備え、前記素子のそれぞれが薄膜バルク音波共振器 (FBAR) を有する第 2 の梯子型回路を備えることを特徴とする送受切換器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子コンポーネントである送受切換器に係り、特に、大電力無線周波回路に用いられる電子コンポーネントである送受切換器に関する。

【0002】

【従来の技術】多くの様々な通信用途において、受信機の入力及び送信機の出力の両方に対して共用信号経路が結合されている。例えば、セルラ電話又はコードレス電話等のトランシーバの場合、受信機の入力及び送信機の出力に対してアンテナを結合することが可能である。このような構成の場合、送受切換器を用いて、共用信号経路と受信機の入力及び送信機の出力とが結合される。送受切換器は、必要な結合を可能にし、同時に、送信機によって発生した変調送信信号が、アンテナから受信機の入力に結合して戻され、受信機に過負荷をかけるのを阻止する。

【0003】既に確立された送受切換器の形態は、半二重送受切換器である。半二重送受切換器については、ニューヨークのアカデミック出版から出版されたサーフェイス・アコースティック・ウェーブ・デバイス・フォー・モバイル・アンド・ワイアレス・コミュニケーションの P 253-272 (SURFACE ACOUSTIC WAVE DEVICES FOR MOBILE AND WIRELESS COMMUNICATION, pp. 253-272, Academic Press, New York (1988)) にシー・ケー・キャンベル (C. K. Campbell) 氏による解説がある。半二重送受切換器では、スイッチを利用して、時分割的に受信機又は送信機にアンテナを接続する。半二重送受切換器は、優れた結合特性及び減衰特性を備えているが、双方が同時に話す (聞く) ことができないので、電話用途に関しては許容できない解決手法である。

【0004】電話用途に関してより許容可能性の高い形態の送受切換器は、やはり、キャンベル氏による解説にある全二重送受切換器である。全二重送受切換器の利用を可能にするには、送信信号が受信信号と異なる周波数

でなければならない。全二重送受切換器にはスイッチがなく、信号の周波数に基づいて受信信号から送信信号を分離する帯域フィルタが組み込まれている。図 6 は、セルラ電話、パーソナル通信システム (Personal Communication System; 以下、PCS という) 又は他の送信装置/受信装置に用いられる従来のフロント・エンド回路 10 を示すブロック図である。この場合、送信機 14 の電力増幅器 12 の出力及び受信機 18 の低雑音増幅器 (Low-Noise Amplifier; 以下、LNA という) 16 の入力

10

は全二重送受切換器である送受切換器 20 に接続される。【0005】送受切換器 20 は、送信ポート 24、受信ポート 26 及びアンテナ・ポート 28 を備えた 3 ポート装置である。アンテナ・ポート 28 は、帯域フィルタ 30 を介して送信ポート 24 に接続され、直列構成をなす 90° 移相器 34 及び帯域フィルタ 32 を介して受信ポート 26 に接続されている。帯域フィルタ 30、32 の通過帯域はそれぞれ、送信機 14 によって生じる送信信号の周波数範囲及び受信機 18 を同調させることが可能な受信信号の周波数範囲を中心にする。図示の場合、帯域フィルタは、帯域フィルタ 30 の高周波阻止帯域が帯域フィルタ 32 の通過帯域と重なり、帯域フィルタ 32 の低域周波数阻止帯域が帯域フィルタ 30 の通過帯域に重なるように構成されている。

20

【0006】送受切換器 20 を構成する帯域フィルタ 30、32 の要件は、極めて厳しい。帯域フィルタは、電力増幅器 12 によって生じる強い送信信号からアンテナ 22 によって生じる極めて弱い受信信号を分離して、この受信信号を低雑音増幅器 16 の入力に入力する。一般に、低雑音増幅器 16 の感度は、約 -100 dBm 程度であり、電力増幅器 12 は約 28 dBm の電力量を送受切換器に入力することが可能である。この場合、送受切換器は、受信ポートで受信信号と混合された残留送信信号が低雑音増幅器に過負荷をかけるのを阻止するため、アンテナ・ポート 28 と受信ポート 26 の間で送信信号を約 50 dB だけ減衰させなければならない。

30

【0007】次第に普及しつつある移動電話の 1 つのタイプが、符号分割多重アクセス (Code Division Multiple Access; 以下、CDMA という) を利用する PCS (以下、CDMA PCS という) である。CDMA PCS については、ニュージャージー州・ピスカタウェイの IEEE 出版によるティー・エス・ラポール氏著のセルラー・ラジオ・アンド・パーソナル・コミュニケーション第 2 集の P 501-509 (T. S. Rapoport, ed., CELLULAR RADIO & PERSONAL COMMUNICATIONS, VOL. 2, pp. 501-509, IEEE Press, Piscataway, NJ, (1996)) に解説がある。CDMA PCS 装置は、約 1900 MHz の周波数帯域で動作し、送受切換器の性能に対して特に厳格な要件を課している。送信信号及び受信信号に割り当てられたスペクトル部分間の保護帯域は、搬送波周波数の約 1

50

%, 20MHz にすぎない。送信信号及び受信信号に割り当てられたスペクトル部分の帯域幅は、搬送波周波数の約 3%, すなわち、60MHz である。これは、帯域フィルタ 30, 32 が、極めて鋭いロール・オフを備える必要があることを表している。図 7 は、送信帯域及び受信帯域の基本構成を示す周波数に対する減衰量の特性図である。帯域フィルタ 30, 32 に必要とされる特性がそれぞれ破線 36 及び線 38 で示されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】セルラ電話及び PCS 装置は、常に、より小型に、より低コストになるように製造されている。一般に、いくつかのスタック式プリント回路基板は全パッケージ・サイズ内に PCS 装置の回路要素を収容するために用いられる。プリント回路基板に取り付けられるコンポーネントは、小型化しなければならないだけでなく、厳格な高さに関する要件を満たさなければならない。制限された高さより高いコンポーネントは、プリント回路基板の間隔をさらにあけることが必要になり、このため、実現可能な実装密度が低下する。また、高さの高すぎるコンポーネントは、少なくとも 1 つの隣接するプリント回路基板にそれら高すぎるコンポーネントを収容するホールをあける必要があり、実装密度の低下及びアセンブリ・コストの増大の両方をもたらすことになる。

【0009】送受切換器 20 に関するもう 1 つの問題は、その電力処理能力である。送信機 14 の電力増幅器 12 は、送受切換器 20 の送信ポート 24 に対して 1 ワットまでの電力を供給することが可能である。説明した小型化が施されると、帯域フィルタ 30, 32 は、破壊されることなく又は使用しているうちにその特性を劣化させることなく電力を供給できなければならない。

【0010】現行世代の PCS 装置は、送受切換器 20 としてセラミック・フィルタを利用している。しかし、このセラミック・フィルタは、約 $28 \times 8 \times 5$ mm とかさばり、高さの高すぎるコンポーネントであり、高価である。このようなフィルタのサンプルは、個別に同調が行われてきたことを示し、これがこのような装置のコストの要因となっている。

【0011】表面弾性波 (SAW) フィルタは、セルラ電話及び PCS 装置において送受切換器としても利用されてきた。例えば、1998 年の日本の仙台における IEEE 国際超音波シンポジウムでのオー・イケダ、エヌ・ニシハラ、ワイ・サトウ、エッチ・フクシマ及びエヌ・ヒリサワ氏らによるデザイン・オブ・アンテナ・デュプレクサ・ユージング・ラダー・タイプ・SAW・フィルタ (O. Ikata, N. Nishihara, Y. Satoh, H. Fukushima, and N. Hirisawa, A Design of Antenna Duplexer Using Ladder Type SAW Filters, PROC. 1998 IEEE INTERNATIONAL ULTRASONICS SYMPOSIUM, SENDAI, JAPAN, paper 0-1 (Oct. 1998)) を参照されたい。上記 CDMA 用途において、十分な電

力処理能力を備えた SAW フィルタのロール・オフは、不十分な急峻さ (steep) である。その代わり、2 つの SAW フィルタと電子スイッチとを利用しなければならない。フィルタの一方によって、送信帯域及び受信帯域の上半分がカバーされ、もう一方のフィルタによって、送信帯域及び受信帯域の下半分がカバーされる。電子スイッチによって、送信帯域及び受信帯域の PCS 装置が動作している部分に基づいて、適合するフィルタが選択される。したがって、SAW フィルタをベースにした送受切換器は、許容できないほどかさばり、複雑で、高価であり、さらに、送信機出力電力にサージが生じると故障する可能性がある。

【0012】本発明は上記事情にかんがみてなされたものであり、送信帯域と受信帯域との分離が動作周波数のわずか約 1% にすぎず、1 ワットを超える電力レベルによって送受切換器の信頼性又はフィルタ特性の長期安定性が損なわれることのない CDMA PCS 装置等の用途における利用を可能にするのに十分に急峻なフィルタ特性を備える送受切換器を提供することを目的とする。また、本発明のもう 1 つの目的は、セラミック・フィルタ又は SAW フィルタをベースにした現行の送受切換器よりかなり小型であって、製造コストを低く保つことができるように個別同調を必要としない送受切換器を提供することも目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、第 1 のポート、第 2 のポート、第 3 のポート、第 1 のポートと第 3 のポートとの間に接続された第 1 の帯域フィルタ及び第 2 のポートと第 3 のポートとの間に接続された直列回路を含む FBAR ベースの送受切換器を提供する。第 1 の帯域フィルタには分路素子及び直列素子を備えた第 1 の梯子型回路が含まれている。第 1 の梯子型回路の素子には、それぞれ薄膜バルク音波共振器 (Film Bulk Acoustic Resonator; 以下、FBAR という) が含まれている。直列回路には、第 2 の帯域フィルタと直列をなす 90° 移相器が含まれている。第 2 の帯域フィルタには分路素子及び直列素子を備えた第 2 の梯子型回路が含まれている。第 2 の梯子型回路の素子にはそれぞれ FBAR が含まれている。

【0014】帯域フィルタの少なくとも 1 つの素子に含まれる FBAR は、全体として 2 つの異なる共振周波数を備えることが可能である。

【0015】帯域フィルタの少なくとも 1 つの素子に含まれる FBAR は、全体として 3 つ以上の異なる共振周波数を備えることが可能である。

【0016】帯域フィルタの少なくとも 1 つの素子に含まれる FBAR は、全て、異なる共振周波数を備えることが可能である。

【0017】帯域フィルタの素子の少なくとも 1 つは、さらに、それに含まれる FBAR と直列をなす補助イン

ダクタを含むことが可能である。

【0018】帯域フィルタの少なくとも1つの直列素子に含まれるFBARは、全て、同じ共振周波数を備えることが可能であり、帯域フィルタの少なくとも1つの分路素子に含まれるFBARは、全て、直列素子に含まれるFBARの共振周波数とは異なる、同一の共振周波数を備えることが可能である。

【0019】補助インダクタと直列をなすFBARには、分路キャパシタンスが含まれており、補助インダクタは、第1の帯域フィルタの帯域上限、第1の帯域フィルタの帯域下限、第2の帯域フィルタの帯域上限又は第2の帯域フィルタの帯域下限に対応する周波数において、分路キャパシタンスと直列共振を生じるインダクタンスを備えている。

【0020】送受切換器には、さらに、帯域通過フィルタの少なくとも1つにおける2つの分路素子に対する共通接地接続と直列をなす補助インダクタンスを含むことが可能である。

【0021】分路素子の1つに含まれるFBARは、直列をなす第1のFBAR及び第2のFBARを含むことが可能である。

【0022】本発明によれば、また、分路素子及び直列素子を含み、直列素子及び分路素子が接続されて梯子型回路を形成し、素子のそれぞれにFBARが含まれている帯域フィルタも得られる。

【0023】最後に、本発明は、FBARの少なくとも1つが、他のFBARと共振周波数が異なるFBARの集積アレイを提供する。集積アレイには、第2の主表面と向かい合った第1の主表面を含む圧電層が含まれている。集積アレイには、さらに、圧電層の第1の主表面に配置された第1の電極と、圧電層の第2の主表面に配置された第2の電極が含まれている。FBARの1つは、第2の電極の1つが第1の電極の1つと重なる位置のそれぞれにおいて形成される。他のFBARと共振周波数が異なるFBARの1つを形成する電極は、他のFBARを形成する他の電極と重み付き厚さ(weighted thickness)が異なっている。

【0024】

【発明の実施の形態】近年の特許文献には、FBARが記載がある。例えば、本発明の譲受人に譲渡された米国特許第5,587,620号公報(本明細書において援用する)には、FBARの記載がある。図1(a)は、FBAR50を示す断面図である。

【0025】FBAR50は、基板56に形成されたウェル54の上に、その周縁で吊られた(suspend)圧電層52を備えて構成される。圧電素子のウェルの上に重なる部分の対向表面には、電極58,60が配置されている。電極58,60には、それぞれ、端子66,68を介して電気的接続が施される。圧電層52及び電極58,60は、圧電共振器スタック62を形成している。

圧電共振器スタックは、電極間に印加される電圧の大きさ及び方向に応答して、矢印64で表示される方向に伸張及び収縮する。

【0026】圧電層52と電極58,60とを備えて構成される圧電共振器スタック62は、その周縁で吊られており、その主表面が両方とも空気、他の周囲ガス又は真空と接している場合、圧電共振器スタックはQの高い音波共振器を形成する。端子66,68を介して電極58,60に加えられる交流信号は、圧電共振器スタックにおける音速をスタックの重み付き厚さの2倍で割った値に等しい周波数を備えている。すなわち、 $f_r = c / 2t$ 。(ここで、 f_r は共振周波数であり、 c はスタック内における音速であり、 t はスタックの重み付き厚さである)の場合、その信号によって、圧電共振器スタックが共振する。圧電共振器スタックの共振周波数は、スタックを構成する材料内における音速がそれぞれに異なるため、物理的厚さではなく、重み付き厚さによって決まる。

【0027】約1900MHzで共振が生じるFBAR50の例の場合、基板56は単結晶シリコンのウェーハであり、圧電層52は厚さが約2 μ mの窒化アルミニウム(AIN)の層であり、電極58,60は厚さが約0.1 μ mのモリブデンの層である。この薄膜において、電極は圧電共振器スタック62の質量のかなりの部分を構成するので、モリブデンは電極に関して望ましい材料である。したがって、電極材料の音響特性は圧電共振器スタックのQにかなりの影響を与える。金及びアルミニウム等の一般的な電極材料に比べて、モリブデンは優れた音響特性を備えており、材質がモリブデンの電極によってFBAR50は他の材料の電極よりも高いQを有することが可能になる。FBARの構造及び製作に関するさらなる詳細については、上記特許公報及び本発明の譲受人に譲渡された米国特許出願第09/088,964号公報(本明細書において援用する)に開示されている。

【0028】図1(b)は、FBAR50の等価回路を示す回路図である。主リアクタンス成分は、電極58,60及び圧電層52によって形成されるコンデンサのキャパシタンスである分路キャパシタンス C_p である。圧電層は分路コンデンサ C_p の誘電体である。抵抗器 R_p は、分路キャパシタンス C_p の直列抵抗を表している。インダクタンス L_m 及びキャパシタンス C_m は、圧電共振器スタック62のインダクタンス及びキャパシタンスを表している。抵抗器 R_m は、圧電共振器スタックの損失を表している。抵抗器 R_s は、端子66,68と圧電共振器スタック62との間における接続の直列電気抵抗を表している。

【0029】図1(c)は、端子66と端子68との間において測定されるインピーダンス $|Z|$ 係数と周波数との関係を示す特性図である。周波数が増加するにつれ

て、インピーダンスは分路キャパシタンス C_p のインピーダンス降下のために漸次降下する。インピーダンスは、最終的には、機械的インダクタンス L_m と機械的キャパシタンス C_m との間の直列共振周波数で最低値に到達する。その後、インピーダンスは急激に上昇し、機械的インダクタンス L_m 及び直列に組み合わせられた機械的キャパシタンス C_m と分路キャパシタンス C_p との間の並列共振周波数で最高値に到達する。分路キャパシタンスは機械的キャパシタンスの約20倍であるため、直列共振と並列共振との周波数差は小さい。周波数が並列共振周波数を超えると、インピーダンスは急峻な降下を示す。この開示においてFBARの共振周波数に言及する場合、別段の記述のない限り、FBARの並列共振周波数について言及したものと解釈すべきである。

【0030】図2は、本発明の第1の実施形態に係る送信FBARアレイ102及び受信FBARアレイ104を組み込んだ送受切換器を示す回路図である。送受切換器100は、CDMA PCS装置に用いるのに適した送信ポート124、受信ポート126及びアンテナ・ポート128を含む3ポート装置である。送受切換器は、90°移相器134、送信FBARアレイ102を含む送信帯域フィルタ130及び受信FBARアレイ104を含む受信帯域フィルタ132を備えて構成されている。送信ポート124は、送信帯域フィルタ130を介してアンテナ・ポート128に接続されている。アンテナ・ポート128は、直列構成をなす90°移相器134及び受信帯域フィルタ132を介して、受信ポート126に接続されている。

【0031】PCS装置、セルラ電話又は他の送信/受信装置に用いられる場合、図2に示す回路と同様の回路構成において、送受切換器100のアンテナ・ポート128はアンテナ（図示せず）に接続され、送信ポート124は送信機（図示せず）の出力に接続され、受信ポート126は受信機（図示せず）の入力に接続される。帯域フィルタ130及び132の通過帯域は、それぞれ、送信機によって生じる送信信号の周波数範囲及び受信機を同調させることが可能な受信信号の周波数範囲を中心にする。図示の例の場合、送信及び受信帯域フィルタ130及び132は、送信FBARアレイ102を含む送信帯域フィルタ130の高周波阻止帯域が、受信FBARアレイ104を含む受信帯域フィルタ132の通過帯域と重なり、受信帯域フィルタ132の低域周波阻止帯域が、送信帯域フィルタ130の通過帯域に重なるように構成されている。

【0032】次に、送信帯域フィルタ130の構造について説明する。送信帯域フィルタは、送信FBARアレイ102を備えて構成されている。送信FBARアレイ102は、梯子型回路を形成するように接続された直列FBAR101、103、105と分路FBAR107、109とを備えて構成されている。直列FBARは

送信ポート124とアンテナ・ポート128との間に直列に接続されており、分路FBAR107は、アースと直列FBAR103及び直列FBAR105の間のノードとの間に接続されている。したがって、図示の例の場合、FBAR101、103、105、107、109は、21/2段の梯子型回路を形成している。しかし、梯子型回路における段数は、本発明にとって重要なものではない。FBARアレイ102において、1つの直列FBARと1つの分路FBARとでそれぞれ構成される全段の数及び1つの直列FBAR又は1つの分路FBARでそれぞれ構成される半段の数は、送信帯域フィルタ130の所望のフィルタ特性及び送信FBARアレイ102を構成する個々のFBARの特性によって決まる。例えば、好適には、送信帯域フィルタはFBAR105の2段フィルタである。

【0033】次に、受信帯域フィルタ132の構造について説明する。受信帯域フィルタ132は、受信FBARアレイ104を備えて構成されている。受信FBARアレイ104は、梯子型回路を形成するように接続された直列FBAR111、113、115と分路FBAR121、123、125、127とを備えて構成されている。直列FBARは、アンテナ・ポート128から遠隔の90°移相器134の端部と受信ポート126との間に直列に接続されている。分路FBAR121は、アースと直列FBAR111及びアンテナ・ポート128から遠隔の90°移相器134の端部の間のノードとの間に接続されている。分路FBAR123はアースと直列FBAR111及び直列FBAR113間のノードとの間に接続されており、分路FBAR125はアースと直列FBAR113及び直列FBAR115間のノードとの間に接続されており、分路FBAR127はアースと直列FBAR115及び受信ポート126の間のノードとの間に接続されている。したがって、図示の例の場合、FBAR111、113、115、121、123、125、127は、31/2段の梯子型回路を形成している。しかし、梯子型回路における段数は本発明にとって重要なものではない。必要とされる全段の数及び半段の数は受信帯域フィルタ132の所望のフィルタ特性及び受信FBARアレイ104を構成する個々のFBARの特性によって決まる。

【0034】90°移相器134として用いるのに適した回路は当該技術において周知である。例えば、90°移相器134は、集中インダクタ及びコンデンサ又は $\lambda/4$ 伝送ラインを備えて構成することが可能である。

【0035】それぞれ、送信帯域フィルタ130及び受信帯域フィルタ132の所望のフィルタ特性が得られるようにFBARアレイ102及び104の設計を行うため、発明者は、カリフォルニア州・ウェストレイク・ビレッジのHP EEs of Corp. によって販売されているマイクロウェーブ・デザイン・システム（MD

S) (Microwave Design System(MDS), release 7.0(1996))と呼ばれる市販のマイクロ波設計シミュレータを利用した。各FBARアレイの個々のFBARは、図1(b)に示す修正されたバターワース・ダイク回路(Butterworth-VanDyke circuit)を用いてモデル化された。この設計シミュレータは、面積を最適化し、FBARアレイ102、104のそれぞれにおけるFBARの必要とされる共振周波数を計算するために利用された。発明者は、物理的シミュレータを用いて各FBARの圧電共振器スタック(図1(a)に符号62で示す)をモデル化し、圧電共振器スタックを構成する層の物理的特性を明らかにし、必要とされる共振周波数を実現する、各FBARを構成する圧電共振スタック層の厚さを計算した。このシミュレータについては、マサチューセッツ州ケンブリッジのマスソフト・インク(Mathsoft, Inc.)によって販売されているマス・キャド8(Mathcad 8)に記載があり、1964年にニューヨーク州のアカデミック出版から出版された「フィジカル・アコースティック・プリンシプル・アンド・メソッド 第1.1A集」(PHYSICAL ACOUSTICS PRINCIPLES AND METHODS, Vol. 1A, pp. 239-247, Academic Press, New York(1964))においてダブリュ・ピー・マソン(W. P. Mason)氏によって解説されたモデルをベースにしたものである。

【0036】CDMA PCS装置の送受切換器100の送信帯域フィルタ130の所望のフィルタ特性が得るため、送信FBARアレイ102を構成する直列FBAR101~105は全て同じ共振周波数を備えることが可能であり、分路FBAR107及び109は両方とも同じ共振周波数を備えることが可能である。しかし、直列FBARの共振周波数は分路FBARの共振周波数より約3%高い。

【0037】全ての直列FBARが同じ共振周波数を備え、全ての分路FBARが直列FBARの共振周波数とは異なる、同一共振周波数を備えている送信FBARアレイ102によって得られるフィルタ特性とは異なる送信帯域フィルタ130のフィルタ特性が用途によっては必要になる場合もある。この場合、送信FBARアレイは全体として2つ以上の異なる共振周波数を有するFBARを備えて構成することが可能である。

【0038】受信帯域フィルタ132に用いられるFBARアレイ104は、全て同じ共振周波数を備える直列FBARと、全て直列FBARの共振周波数とは異なる、同一共振周波数を備える分路FBARとを備えて構成することも可能である。しかし、CDMA PCS装置の送受切換器100の場合、受信帯域フィルタ132は、受信ポート126における受信信号と混合される残留送信信号によって、受信ポートに接続された受信機の高感度で低雑音の増幅器に過負荷が加えられることがないほどの低レベルまで、アンテナ・ポート128にお

る送信信号を減衰させることが必要になる。したがって、受信帯域フィルタ132の送信信号除波要件は、送信帯域フィルタ130の受信信号除波要件よりもかなり厳しいものになる。今日のFBAR製作技術を利用すると、直列FBARが全て同じ共振周波数を備え、分路FBARが全て直列FBARの共振周波数とは異なる同じ共振周波数を備える受信FBARアレイ104の実施態様に関する除波要件を満たすのは困難である。

【0039】受信FBARアレイ104において、CDMA PCS装置の受信帯域フィルタ132が所望のフィルタ特性が得られるようにするために、全ての分路FBARが、同じ共振周波数を備えるわけではないが、直列FBARは全て同じ共振周波数を備えることが可能である。換言すれば、受信FBARアレイを構成するFBARは、全体として3つ以上の異なる共振周波数を備えることが望ましい。場合によっては、受信FBARアレイを構成するFBARが全て異なる共振周波数を備えることも可能である。

【0040】図示の例の場合、受信FBARアレイ104の直列FBAR111、113、115の共振周波数は、後述するように、送信帯域フィルタ130及び受信帯域フィルタ132の特性をインターリーブするため、送信FBARアレイ102の直列FBAR101、103、105の共振周波数よりも約80MHz高い。

【0041】最近になって、一般的な圧電層上に製作されたいくつかの相互接続FBARを備える集積FBARアレイが製造されている。送信FBARアレイ102及び受信FBARアレイ104として、このような集積FBARアレイを用いることによって、極めて小さい送受切換器100の製作が具体化可能になる。図3(a)及び図3(b)は、FBARアレイ102及び104に必要とされるような梯子型回路を形成するように相互接続された6つのFBAR72、73、74、75、76、77を備えて構成されるFBARアレイ70を示す構造図である。図1(a)に示す単一FBAR50と同様に、圧電層78がシリコン基板82上に形成されたウェル80の上に、その周縁で吊られている。電極83、84、85、86、87が圧電層表面の基板から遠隔の部分に配置されている。図3(a)に破線で示された電極88及び電極89が、圧電層表面の基板に面した部分に配置されている。FBARは圧電層の両側表面の電極が重なるところに形成される。例えば、FBAR72は電極83及び電極88が重なるところに形成されている。

【0042】基板82に形成された単一ウェル80に対する好適な代替案として、基板にFBAR72~77のそれぞれに1つずつの複数ウェルを形成すると、FBARはそれぞれ個々のウェルの上に吊られることになる。FBARのそれぞれに個別のウェルを設けることによって、FBARのQが高くなり、信頼性が向上する。

【0043】FBAR72~77のそれぞれの概略が鎖

線で示されている。図3に示すFBARの輪郭形状は、図面を単純化するためかなり様式化されている。本開示の譲受人に譲渡され、参考のために本明細書に組み込まれている米国特許出願第09/282,082号公報に記載されているように、実際のFBARは、形状が不規則であり、長さの異なる非平行側面を備えている。不規則な形状と、長さの異なる非平行側面のため、別様であれば、FBARの周波数応答を劣化させることになる。さらに、FBARアレイ70を構成するFBARは、一般に、面積が異なっている。

【0044】約0.8平方mmで、厚さ0.14mmのシリコン基板上に製作される集積FBARアレイを用いて、それぞれ送受切換器100のFBARアレイ102及び104を得ることが可能である。

【0045】FBARアレイ102及びFBARアレイ104を構成する個別FBARの特性は、圧電層の厚さ並びにFBARの電極の面積及び厚さによって決まる。例えば、集積FBARアレイ70の場合、FBAR72の特性は、圧電層78の厚さ、電極83と電極88との間における重なり面積及び電極83及び電極88の厚さによって決まる。

【0046】FBARアレイ70を構成するFBARは、共通圧電層78を共用しているので、アレイ内におけるFBARのそれぞれの共振周波数は、FBARの電極の少なくとも1つの厚さを決めることによって設定される。

【0047】全ての直列FBARが同じ共振周波数を備えており、そして、全ての分路FBARが同じ共振周波数を備えかつその共振周波数が直列FBARの共振周波数とは異なる、FBARアレイ102及び104の実施態様として用いられる集積FBARアレイ70の実施態様では、少なくとも1つの電極が分路FBARの対応する電極よりも厚くなるように分路FBARを製作することによって、分路FBARの共振周波数が直列FBARの共振周波数に対して低下する。全ての直列FBARが同じ共振周波数を備え、そして、全ての分路FBARが同じ共振周波数を備えかつその共振周波数が直列FBARの共振周波数とは異なる、集積FBARアレイの製作に必要とされるプロセスは、全てのFBARが同じ共振周波数を備える集積FBARアレイの製作に必要とされるプロセスよりもほんの少し複雑である。

【0048】FBARが、全体として、CDMA PCS装置の送受切換器に用いられる受信FBARアレイ104の実施態様のように、3つ以上の共振周波数を備えるFBARアレイ102及び104の実施態様に用いられるFBARアレイ70の実施態様では、FBARの電極は異なる共振周波数の数に対応する数の異なる厚さを備えている。今日の集積FBARアレイ製作技術を用いて、電極が全体として3つ以上の異なる厚さを備え、ア

レイにおけるFBARの数に対応する数の厚さを備えることが可能な、CDMA PCS装置の送受切換器における受信FBARアレイ104として用いられる集積FBARアレイの実施態様を製作することは困難である。しかし、このようにして受信FBARアレイを製作すると、送受切換器100は、2つのFBARアレイ102及び104と90°移相器134だけから構成されるので、送受切換器100のサイズが最小限に抑えられる。図4は、本発明の第2の実施形態に係る送受切換器を示す回路図である。本実施形態は、図2に示す実施形態に比較すると、幾分大きいのが、その受信FBARアレイ204は、今日の集積FBARアレイ製作技術を用いて製作するのが容易であり、コストも低い。送受切換器200は、CDMA PCS装置の送受切換器としての利用に適したものにフィルタ特性を備えているが、送信FBARアレイ202及び受信FBARアレイ204は、両方とも、全てが同じ共振周波数を備える直列FBARと、全てが、直列FBARの共振周波数とは異なる、同じ共振周波数を備える分路FBARとを備えてそれぞれ構成されている。これによって、FBARが全体として2つの共振周波数だけしか備えていない集積FBARを、FBARアレイ202及び204のそれぞれとして用いることが可能になる。こうした集積FBARアレイは、FBARの全てが同じ共振周波数を備えているFBARアレイを製作するためのプロセスと比べて、複雑さがほとんど変わらないプロセスによって製作することが可能である。図2及び図4と重複する部分には同一の符号を付して説明を省略する。

【0049】送受切換器200は、送信ポート124、受信ポート126及びアンテナ・ポート128を備えた3ポート装置であり、90°移相器134、送信FBARアレイ202を有する送信帯域フィルタ230及び受信FBARアレイ204を含む受信帯域フィルタ232を備えて構成されている。送信ポート124は、送信帯域フィルタを介してアンテナ・ポート128に接続されている。アンテナ・ポート128は、直列構成をなす90°移相器及び受信帯域フィルタを介して受信ポート126に接続されている。

【0050】PCS装置、セルラ電話又は他の送信/受信装置に用いられる場合、図2に示すものと同様の回路構成において、送受切換器200のアンテナ・ポート128はアンテナ（図示せず）に接続され、送信ポート124は送信機（図示せず）の出力に接続され、受信ポート126は、受信機（図示せず）の入力に接続される。帯域フィルタ230及び232の通過帯域は、それぞれ、送信機によって生じる送信信号の周波数範囲及び受信機を同調させることが可能な受信信号の周波数範囲を中心にする。図示の例の場合、帯域フィルタ230及び232は、送信帯域フィルタ230の高周波阻止帯域が、受信帯域フィルタ232の通過帯域と重なり、受信

帯域フィルタの低周波阻止帯域が、送信帯域フィルタの通過帯域と重なるように構成されている。

【0051】次に、受信帯域フィルタ232について説明する。受信帯域フィルタは、受信FBARアレイ204、直列補助インダクタ241、243及び分路補助インダクタ231、233、235、237を備えて構成されている。受信FBARアレイは、梯子型回路を形成するように接続された直列FBAR211、213、215と、分路FBAR221、223、225、227とを備えて構成されている。直列補助インダクタ241、直列FBAR211、213、215及び直列補助インダクタ243は、アンテナ・ポート128から遠隔の90°移相器134の端部と受信ポート126との間に直列に接続されている。分路FBAR221及び分路補助インダクタ231は、アースと直列補助インダクタ141及び直列FBAR211間のノードとの間に直列に接続されている。分路FBAR223及び分路補助インダクタ233は、アースと直列FBAR211及び213間のノードとの間に直列に接続されている。分路FBAR225及び分路補助インダクタ235は、アースと直列FBAR213及び215間のノードとの間に直列に接続されている。分路FBAR227及び分路補助インダクタ237は、アースと直列FBAR215及び直列補助インダクタ243間のノードとの間に直列に接続されている。したがって、図4の場合、FBAR及び補助インダクタは、31/2段梯子型回路をなすように接続されている。しかし、梯子型回路の段数は、本発明にとって重要ではない。必要とされる全段の数及び半段の数は、受信帯域フィルタ232の所望のフィルタ特性、受信FBARアレイ204を構成する個別FBARの特性及び補助インダクタの特性によって決まる。

【0052】FBARアレイ204の場合、直列FBAR211、213、215は、全て同じ共振周波数を備え、分路FBAR221、223、225、227は、全て同じ共振周波数を備えている。図4の場合、直列FBARの共振周波数は、分路FBARの共振周波数より約3%高い。図3(a)及び図3(b)に示す集積FBARアレイ70と同様の集積FBARアレイが、FBAR204として用いられる場合、共振周波数の差は、それらの質量を増加させるために分路FBARの電極だけに追加金属を堆積させる追加ステップによって得られる。

【0053】FBARアレイ204で示すように、直列FBAR211、213、215の1つに接続されない分路FBAR221、223、225、227の電極は、まとめて共通端子に接続されるのではなく、独立した端子に接続される。独立した端子によって、分路補助インダクタ231、233、235、237は、それぞれ、分路FBAR221、223、225、227と直列に接続することが可能になる。

【0054】図1(b)に示すFBARの修正されたバタワースーバン・ダイク等価回路を検査することによって分かるように、補助インダクタをFBARの端子の1つに直列に接続することによって、補助インダクタはFBARの機械的インダクタンス L_m 及び分路キャパシタンス C_p の両方に対して直列になる。各補助インダクタンスには2つの主たる効果、すなわち、FBARの直列共振周波数をわずかに低下させる効果と、追加直列共振を生じさせる効果がある。補助インダクタンスはFBARの並列共振周波数に対してごくわずかな影響しか及ぼさない。

【0055】補助インダクタ231、233、235、237を用いて、受信帯域フィルタ232を構成するFBAR221、223、225、227の直列共振周波数を異なる量ずつ低下させると、FBARアレイ204における全ての直列FBARが、同じ共振周波数を備え、FBARアレイにおける全ての分路FBARが、同じ共振周波数を備えるという制約条件にもかかわらず、理想の周波数特性を備えた受信帯域フィルタが得られる。

【0056】追加直列共振は、補助インダクタンスと分路キャパシタンス C_p との間に生じる。各追加直列共振によって、受信帯域フィルタの周波数応答にゼロが追加される(additional null)。補助インダクタンスの値は、追加共振周波数を設定し、下記の周波数領域の1つにゼロを追加するように企図されている：送信帯域の低周波数端、送信帯域と受信帯域のクロスオーバー領域及び受信帯域の高周波数端。受信帯域フィルタの周波数応答にゼロを追加することによって、実際の実施態様は、送信周波数範囲において部分的に50dBを超える減衰を生じさせることが可能になる。この減衰量は、これまで、本発明による帯域フィルタと同等のサイズを備えた帯域フィルタを用いて実現されることはなかった。

【0057】上記のモデル化ツールは、送受切換器200をモデル化し、FBARアレイ204を構成するFBARが、2つの異なる共振周波数だけしか備えていないにもかかわらず、受信帯域フィルタ232にその所望のフィルタ特性を提供する補助インダクタ231、233、235、237、241、243の値を決定するために利用される。図4の場合、補助インダクタのインダクタンスは、2~5nHの範囲内である。これは、約80nHであるFBARの機械的インダクタンス L_m に比べて小さい。したがって、補助インダクタとして比較的質の劣るインダクタを利用しても、FBARの直列共振のQが大幅に劣化することはない。

【0058】好適には、各分路補助インダクタ231、233、235、237のそれぞれのインダクタンスは、FBARアレイ204のパッケージのそれぞれのボンディング・ワイヤのインダクタンス、個別チップ・インダクタのインダクタンス及びFBARアレイ202及

びFBARアレイ204が送受切換器200を形成するように取り付けられたプリント回路基板の導電性トレースのインダクタンスとを直列に組み合わせることによって得られた。導電性トレースは、パッケージのピンを個別インダクタに接続し、個別インダクタをアースに接続するトレースであった。さらに、FBARアレイ204のパッケージのボンディング・ワイヤに関するインダクタンスは、直列補助インダクタンス241及び243の少なくとも一部において得られた。

【0059】上記のように、図4の場合、受信FBARアレイ204の直列FBAR211、213、215の共振周波数は、上記の送信帯域フィルタ130及び受信帯域フィルタ132の特性をインターリーブするため、送信FBARアレイ102の直列FBAR101、103、105の共振周波数より約80MHz高い。

【0060】全ての用途において、受信帯域フィルタ232に、補助インダクタ231、233、235、237、241、243の全てが含まれている必要はない。こうした用途の場合、図2に示す第1の実施形態のように、分路FBARの少なくとも1つが直接アースに接続される構成によって、許容可能なフィルタ特性を得ることが可能である。

【0061】次に、送信帯域フィルタ230について説明する。送信帯域フィルタの所望のフィルタ特性を満たすのに十分な高さのQを備えたFBARが利用可能であれば、送信帯域フィルタ230として、図2に示す送信帯域フィルタ130と同じ帯域フィルタを利用することが可能になる。十分な高さのQを備えたFBARが利用できない場合、あるいは、送信帯域フィルタのフィルタ特性に関してより大きい安全余裕度が必要とされる場合、送信帯域フィルタとして、図4に示すような分路補助インダクタを含む構成を利用することが可能である。送信FBARアレイは、梯子型回路を形成するように接続された直列FBAR201、203、205と分路FBAR207、209とを備えて構成されている。直列FBAR201、203、205は、送信ポート124とアンテナ・ポート128との間に直列に接続される。分路FBAR207及び分路補助インダクタ241は、アースと直列FBAR201及び203間のノードとの間に直列に接続される。分路FBAR209及び分路補助インダクタ243は、アースと直列FBAR203及び205間のノードとの間に直列に接続される。したがって、図4の場合、FBAR及び補助インダクタを接続することによって、21/2段梯子型回路が得られる。

【0062】送信帯域フィルタ230の梯子型回路における段数は、本発明にとって重要ではない。必要とされる全段の数及び半段の数は、送信帯域フィルタの所望のフィルタ特性、受信FBARアレイ202を構成する個々のFBARの特性及び補助インダクタの特性によって決まる。好適には、送信フィルタは直列FBAR205

のない2段梯子型回路を備えて構成される。

【0063】送信帯域フィルタ230のフィルタ特性に対する補助インダクタの影響は、送信アレイのフィルタ特性に対する補助インダクタの上記の影響に相当するため、詳細な説明は控えることにする。

【0064】補助インダクタと送信帯域フィルタ230の分路FBAR207及び209のそれぞれとの直列接続の代替案として、単一補助インダクタンスと分路FBAR107及び109の共通アース経路245を直列にすることも可能である。説明した単一補助インダクタンスを接続することによって、送信帯域フィルタの帯域より高い成分の除波が向上し、帯域より低い成分の除波が劣化する。図4に示すように、補助インダクタと両方の分路FBARが直列に接続されると、帯域より高い成分と帯域より低い成分の除波が両方とも向上する。

【0065】図4に示す送受切換器200のプロトタイプの実施態様では、送信ポート124とアンテナ・ポート128との間の挿入損失が、送信帯域の大部分にわたって3dB未満であった。送信ポート124から受信ポート126までの分離は、送信帯域の大部分にわたって50dBを超え、受信帯域にわたって46dBを超えた。

【0066】送受切換器200を構成する帯域通過フィルタ230及び232は、送信帯域にわたって2ワットC. W. の電力処理能力を一貫して備えている。

【0067】本発明によるプロトタイプのFBARをベースにした送受切換器は、(A Miniaturized Dielectric Monoblock Duplexer for 1.9 GHz Band PCS Telephone System, 96 IEICE, no. 349(CPMG 960103), pp55-60(1996))において、ティー・オカダ氏、ティー・ツジグチ氏及びエッチ・マツモト氏(T. Okada, T. Tsujiguchi, and H. Matumoto)によって解説されたCDMA PCSの1900MHzセラミック共振器による送受切換器の仕様の多くに合致するか、又は、それを超える。プロトタイプのFBARをベースにした送受切換器のパッケージ寸法は、約8mm×5mm×2mmであり、したがって、プロトタイプのFBARをベースにした送受切換器の体積は、上記セラミック送受切換器の約1/14になる。より重要なことは、プロトタイプのFBARをベースにした送受切換器の高さが、セラミック送受切換器の約1/3になるので、FBARをベースにした送受切換器は、もはやプリント回路基板において最も高さの高いコンポーネントではないという点である。これは、PCS装置、セルラ電話又はコードレス電話の送受器のような薄い形状係数の用途において有利である。

【0068】SAW送受切換器は、本発明によるプロトタイプのFBARをベースにした送受切換器とほぼ同じサイズを備えているが、SAW技術では、まだ、CDMA PCSの20MHz保護帯域のロール・オフ要件を満たすのに必要な電力処理能力及び高いQが実現されてい

ない。したがって、上記のように、必要な特性を得るためには、2つ以上のSAWフィルタを利用しなければならない。このため、送受切換器の体積がそれに比例して増大せざるを得なくなる。

【0069】本発明によるFBARベースの送受切換器では、それぞれのFBARアレイを構成するFBARの面積によって、送受切換器の特性インピーダンスが決まる。送受切換器の特性インピーダンスは、アンテナの特性インピーダンスと整合しなければならない。アンテナの特性インピーダンスは、一般に50Ωである。50Ωの特性インピーダンスに合わせて受信FBARアレイ204を設計することによって、受信ポート126に隣接した分路FBAR227のサイズが、分路FBAR223及び225よりかなり小さくなり、90°位相器134に隣接した分路FBAR221のサイズが、分路223及び225より小さくなる。分路FBAR227は、そのサイズが小さくなることによって、Qが残りのFBARよりもかなり低くなる。FBAR227のQが低下すると、受信帯域フィルタ232のフィルタ特性が劣化する。

【0070】図5は、本発明の第3の実施形態に係る送受切換器300を示す回路図である。本実施形態の場合、受信帯域フィルタ332は、50Ωの特性インピーダンスを備えているが、受信FBARアレイ304の分路FBAR337は、サイズ及びQが分路FBAR233及び235と同等の構成要素を備えて構成されている。図3及び図4に示す送受切換器の構成要素に対応する図5に示す送受切換器300の構成要素は、同じ参照番号を用いて表示されており、ここでは再度の説明を省略する。

【0071】送受切換器300の場合、分路インピーダンスは、FBAR227とほぼ同じに保たれ、Qは、単一FBARの約2倍の面積を備える2つのFBAR351及び353の直列構成を利用して改善されている。したがって、FBAR351及び353は、面積がFBAR223及び225の2倍であり、Qはもっと高くなる。結果として、第3の実施形態である50Ωの特性インピーダンスを備えた送受切換器300は、第2の実施形態である50Ωの特性インピーダンスを備えた送受切換器200よりも優れたフィルタ特性を備える。また、FBAR351及び353の直列構成は、単一FBAR227の4倍の電力に耐える。

【0072】送受切換器300のフィルタ特性のさらなる改善は、単一小面積FBARではなく、直列構成をなす2つのFBAR355及び357をFBAR321として用いることによって達成するのが望ましい。

【0073】直列に接続されたFBAR351及び353とFBAR355及び357とは、上記のように面積が等しいが、これは、本発明にとって重要ではない。直列に接続されたFBARによって必要なインピーダンス

が得られる場合には、FBAR351及び353は、異なる面積にすることが可能である。しかし、FBARの面積が等しい場合、最高のQが得られる。さらに、それぞれ直列に接続された3つのFBARによって置き換えられる単一FBARのほぼ3倍の面積を備える、直列に接続された3つのFBARを用いることによって、Qをさらに高めることが可能である。

【0074】FBARアレイが、FBARの電極の一方又は両方の物理的厚さを決めることによって、個別FBAR又はFBARグループの共振周波数が設定される集積FBARアレイによって実施される実施形態について、本発明の説明を行ってきたが、これは本発明にとって重要ではない。上記のように、FBARの共振周波数は、その圧電共振器スタックの重み付き厚さによって決まる。スタックの異なる材料によって音速がそれぞれ異なるため、圧電共振器スタックの重み付き厚さは、スタックの物理的厚さとは異なる。圧電共振器スタックの重み付き厚さと同様の概念の重み付き厚さをFBARの電極に割り当てることが可能である。電極材料における音速を考慮に入れるため、電極の重み付き厚さは電極の物理的厚さとは異なる。FBARの電極の一方又は両方の重み付き厚さを変更すると、FBARの圧電共振器スタックの重み付き厚さ、したがって、FBARの共振周波数が変化する。上記のように、電極の物理的厚さを変更するか、電極材料を音速の異なる材料に変更するか、又は電極の厚さ及び電極材料の両方を変更することによって電極の重み付き厚さを変更することが可能である。したがって、例えば、FBARアレイ202の分路FBARを構成する集積FBARアレイ70のFBARは、全て同じ厚さを備えることが可能であり、FBARアレイ202の分路FBARを構成する集積FBARアレイ70のFBARの電極は、全て、直列FBARの厚さを超える厚さでありかつ同じ厚さを備えることが可能である。代替として、FBARアレイ202の直列FBARを構成する集積FBAR70のFBARの電極及びFBARアレイ202の分路FBARを構成する集積FBAR70のFBARの電極を、同様の厚さの異なる電極材料から製作することによって、同様の結果を得ることが可能である。直列FBARの電極の電極材料における音速は、分路FBARの電極の電極材料における音速よりも低くなるであろう。

【0075】この開示によって、本発明の例証となる実施形態が明らかにされたが、本発明は、開示された実施形態に制限されるものではなく、付属の請求項において定義された本発明の範囲内においてさまざまな修正を施すことが可能である。

【0076】以下に、本発明の実施の形態を要約する。

【0077】1. 第1のポート、第2のポート及び第3のポートと、前記第1のポートと前記第3のポートとの間に接続され、分路素子及び直列素子を備えた第1の

梯子型回路を含んでおり、前記素子のそれぞれに薄膜バルク音波共振器 (FBAR) が含まれている第 1 の帯域フィルタと、前記第 2 のポートと前記第 3 のポートとの間に接続され、第 2 の帯域フィルタと直列をなす 90° 移相器を備える直列回路と、を備え、前記第 2 の帯域フィルタは、分路素子及び直列素子を備え、前記素子のそれぞれが薄膜バルク音波共振器 (FBAR) を有する第 2 の梯子型回路を備える送受切換器。

【0078】2. 前記 FBAR がそれぞれ共振周波数を備え、前記第 1 の帯域フィルタの前記直列素子に含まれる前記 FBAR が、全て、同じ共振周波数を備え、前記第 1 の帯域フィルタの前記分路素子に含まれる前記 FBAR が、全て、前記直列素子に含まれる前記 FBAR の前記共振周波数とは異なる、同じ共振周波数を備える上記 1 記載の送受切換器。

【0079】3. 前記第 2 の帯域フィルタの前記素子に含まれる前記 FBAR が、全体として、2 つの異なる共振周波数を備える上記 2 記載の送受切換器。

【0080】4. 前記第 2 の帯域フィルタの前記素子に含まれる前記 FBAR が、全体として、3 つ以上の異なる共振周波数を備える上記 2 記載の送受切換器。

【0081】5. 前記第 2 の帯域フィルタの前記素子に含まれる前記 FBAR が、全て、異なる共振周波数を備える上記 2 記載の送受切換器。

【0082】6. 前記帯域フィルタの前記素子の少なくとも 1 つに、さらに FBAR と直列をなす補助インダクタが含まれる上記 2 記載の送受切換器。

【0083】7. 前記第 2 の帯域フィルタの前記直列素子に含まれる前記 FBAR が、全て、同じ共振周波数を備え、前記第 2 の帯域フィルタの前記分路素子に含まれる前記 FBAR が、全て、前記第 2 の帯域フィルタの前記直列素子に含まれる前記 FBAR の前記共振周波数とは異なる、同じ共振周波数を備える上記 6 記載の送受切換器。

【0084】8. 前記第 1 の帯域フィルタ及び前記第 2 の帯域フィルタが、それぞれ、帯域上限と帯域下限とを備えており、前記第 1 の帯域フィルタの前記帯域上限及び前記帯域下限の一方が、前記第 2 の帯域フィルタの前記帯域上限及び前記帯域下限のもう一方に重なり、前記 FBAR が分路キャパシタンスを備え、前記補助インダクタが、前記第 1 の帯域フィルタの前記帯域上限及び前記帯域下限並びに前記第 2 の帯域フィルタの前記帯域上限及び帯域下限の 1 つに対応する周波数で、前記分路キャパシタンスと直列共振を生じるインダクタンスを備える上記 6 記載の送受切換器。

【0085】9. 前記分路素子の 1 つに含まれる前記 FBAR が、第 1 の FBAR と、前記第 1 の FBAR と直列をなす第 2 の FBAR と、を備える上記 2 記載の送受切換器。

【0086】10. 前記 FBAR が、それぞれ、共振

周波数を備え、前記帯域フィルタの少なくとも 1 つの前記素子に含まれる前記 FBAR が、全体として、2 つの異なる共振周波数を備える上記 1 記載の送受切換器。

【0087】11. 前記 FBAR が、それぞれ、共振周波数を備え、前記帯域フィルタの少なくとも 1 つの前記素子に含まれる前記 FBAR が、全体として、3 つ以上の異なる共振周波数を備える上記 1 記載の送受切換器。

【0088】12. 前記 FBAR が、それぞれ、共振周波数を備え、前記帯域フィルタの少なくとも 1 つの前記素子に含まれる前記 FBAR が、全て、異なる共振周波数を備える上記 1 記載の送受切換器。

【0089】13. 前記帯域フィルタの前記素子の少なくとも 1 つに、さらに、それに含まれる前記 FBAR と直列をなす補助インダクタが含まれる上記 1 記載の送受切換器。

【0090】14. 前記第 2 の帯域フィルタの前記直列素子に含まれる前記 FBAR が、全て、同じ共振周波数を備え、前記第 2 の帯域フィルタの前記分路素子に含まれる前記 FBAR が、全て、前記第 2 の帯域フィルタの前記直列素子に含まれる前記 FBAR の前記共振周波数とは異なる、同じ共振周波数を備える上記 13 記載の送受切換器。

【0091】15. 前記第 1 の帯域フィルタ及び前記第 2 の帯域フィルタが、それぞれ、帯域上限と帯域下限を備えており、前記第 1 の帯域フィルタの前記帯域上限及び前記帯域下限の一方が、前記第 2 の帯域フィルタの前記帯域上限及び前記帯域下限のもう一方に重なり、前記 FBAR が分路キャパシタンスを備え、前記補助インダクタが、前記第 1 の帯域フィルタの前記帯域上限及び前記帯域下限並びに前記第 2 の帯域フィルタの前記帯域上限及び帯域下限の 1 つに対応する周波数で、前記分路キャパシタンスと直列共振を生じるインダクタンスを備える上記 13 記載の送受切換器。

【0092】16. 前記補助インダクタが、前記分路素子の 1 つに含まれる前記 FBAR と直列をなしている上記 13 記載の送受切換器。

【0093】17. 前記分路素子の 1 つが、前記第 2 の帯域フィルタの前記分路素子の 1 つである上記 16 記載の送受切換器。

【0094】18. 前記分路素子の 1 つに含まれる前記 FBAR が、第 1 の FBAR と、前記第 1 の FBAR と直列をなす第 2 の FBAR と、を備える上記 1 記載の送受切換器。

【0095】19. さらに、前記帯域フィルタの少なくとも 1 つにおける前記分路素子の 2 つに対する共通接地接続と直列をなす補助インダクタをさらに備える上記 1 記載の送受切換器。

【0096】20. 帯域フィルタが、分路素子と、直列素子と、を備え、前記直列素子及び前記分路素子が、

梯子型回路を形成するように接続され、前記素子のそれぞれが薄膜バルク音波共振器 (FBAR) を含む送受切換器。

【0097】21. 前記FBARが、全体として、2つの異なる共振周波数を備える上記20記載の送受切換器。

【0098】22. 前記FBARが、全体として、3つ以上の異なる共振周波数を備える上記20記載の送受切換器。

【0099】23. 前記FBARが、全て、異なる共振周波数を備える上記20記載の送受切換器。

【0100】24. 前記素子の少なくとも1つが、さらに、それに含まれるFBARと直列をなす補助インダクタを備える上記20記載の送受切換器。

【0101】25. 前記FBARが、それぞれ、共振周波数を備え、前記直列素子に含まれる前記FBARが、全て、同じ共振周波数を備え、前記分路素子に含まれる前記FBARが、全て、前記直列素子に含まれる前記FBARの前記共振周波数とは異なる、同じ共振周波数を備える上記24記載の送受切換器。

【0102】26. 薄膜バルク音波共振器 (FBAR) の少なくとも1つが、他のFBARと共振周波数が異なっている、FBARの集積アレイであって、第2の主表面と向かい合った第1の主表面を含む圧電層と、前記圧電層の前記第1の主表面に配置された第1の電極と、前記圧電層の前記第2の主表面に配置された第2の電極と、を備え、前記第2の電極の1つが前記第1の電極の1つと重なる位置に、前記FBARの1つが形成され、前記他のFBARと共振周波数が異なる前記FBARの1つを形成する前記電極が、前記他のFBARを形成する前記他の電極と重み付き厚さが異なるFBAR集積アレイ。

【0103】27. 前記他のFBARと共振周波数が異なる前記FBARの1つを形成する前記電極が、前記他の電極と物理的厚さが異なる上記26記載の集積アレイ。

【0104】28. 前記FBARが、梯子型回路の直列素子及び分路素子を構成し、前記直列素子を構成する前記FBARの前記電極が、ほぼ同じ重み付き厚さを備え、前記分路素子を構成する前記FBARの前記電極が、前記直列素子を構成する前記FBARの前記電極の前記重み付き厚さとは異なる、ほぼ同じ重み付き厚さを備える上記26記載の集積アレイ。

【0105】

【発明の効果】以上の説明で明らかなように、本発明によれば、1ワットを超える電力レベルによって送受切換器の信頼性又はフィルタ特性の安定性が損なわれない十分に急峻なフィルタ特性を備える送受切換器を提供することができる。また、セラミック・フィルタ又はSAWフィルタをベースにした送受切換器よりかなり小型にで

き、さらに、個別同調を必要としないため製造コストを低くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は、薄膜バルク音波共振器 (FBAR) の断面図であり、(b)は、FBARの等価回路を示す回路図であり、(c)は、FBARのインピーダンス |Z| 係数と周波数との関係を示す特性図である。

【図2】第1の実施形態に係る送受切換器を示す回路図である。

【図3】(a)は、本発明による送受切換器及び帯域フィルタの一部として用いることが可能なFBARアレイを示す平面図であり、(b)は、本発明による送受切換器及び帯域フィルタの一部として用いることが可能なFBARアレイを示す断面図である。

【図4】第2の実施形態に係る送受切換器を示す回路図である。

【図5】第3の実施形態に係る送受切換器を示す回路図である。

【図6】セルラ電話、PCS装置又は他の送信装置/受信装置に用いられる従来のフロント・エンド回路を示すブロック図である。

【図7】送信帯域及び受信帯域の基本構成を示す、周波数に対する減衰量の特性格図である。

【符号の説明】

52 圧電層

54 ウェル

56 基板

58, 60 電極

66, 68 端子

100 送受切換器

101, 103, 105 直列FBAR

102 送信FBARアレイ

104 受信FBARアレイ

107, 109 分路FBAR

111, 113, 115 直列FBAR

121, 123, 125, 127 分路FBAR

124 送信ポート

126 受信ポート

128 アンテナ・ポート

134 90° 移相器

145 共通接地

200 送受切換器

201, 203, 205 直列FBAR

202 送信FBARアレイ

204 受信FBARアレイ

207, 209 分路FBAR

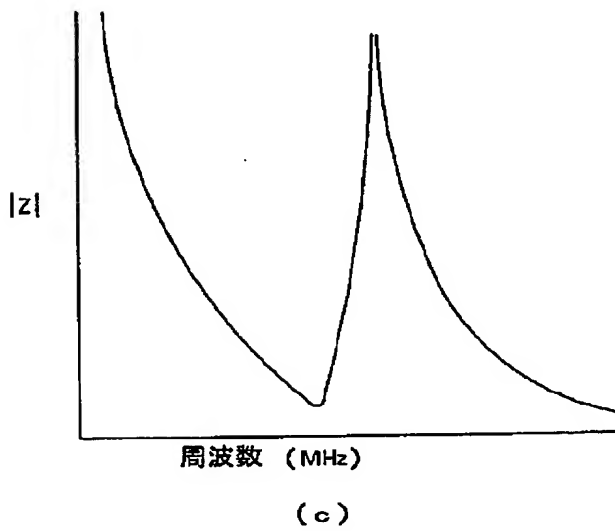
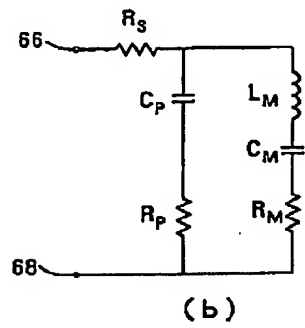
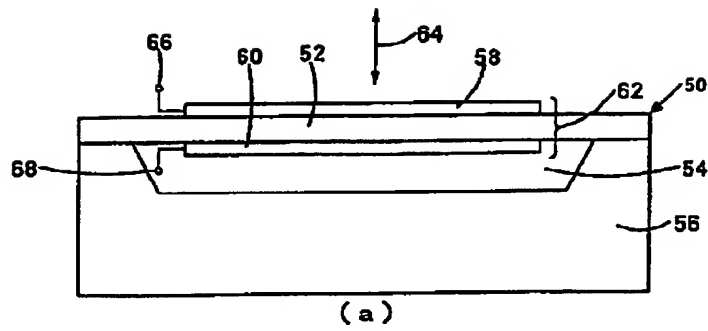
211, 213, 215 直列FBAR

221, 223, 225, 227 分路FBAR

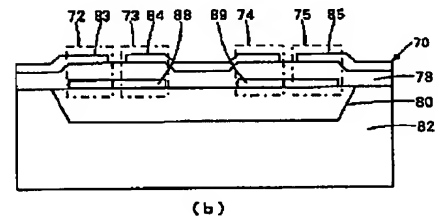
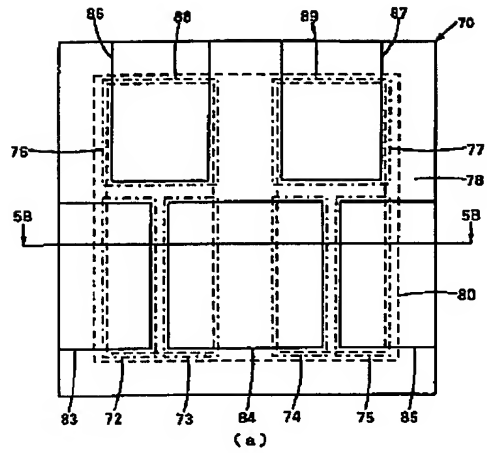
241, 243 直列補助インダクタ

231, 223, 225, 227 分路補助インダクタ

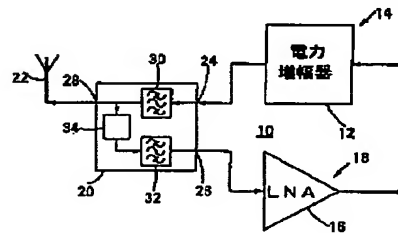
【図 1】



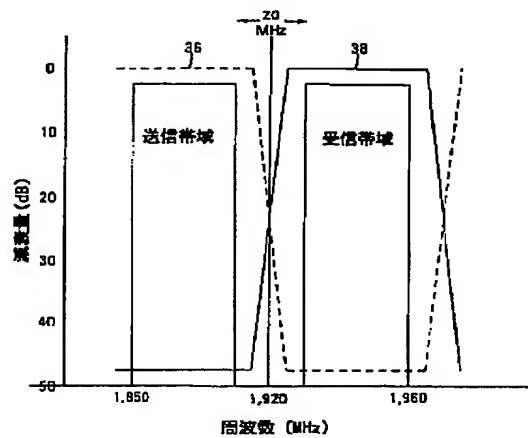
【図 3】



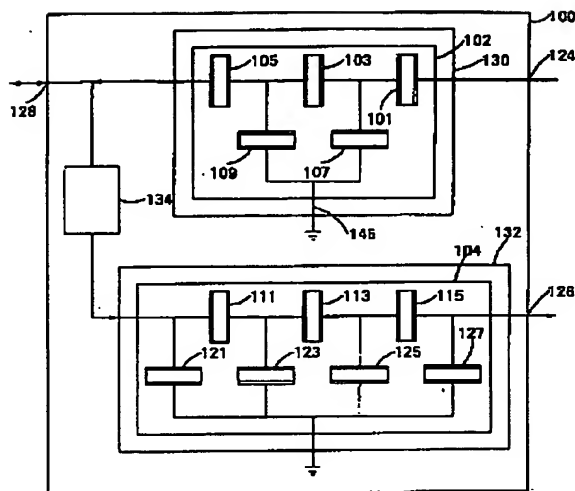
【図 6】



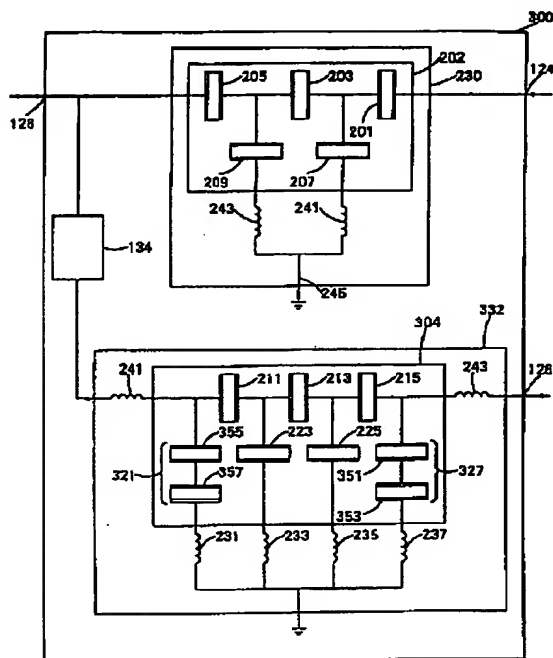
【図 7】



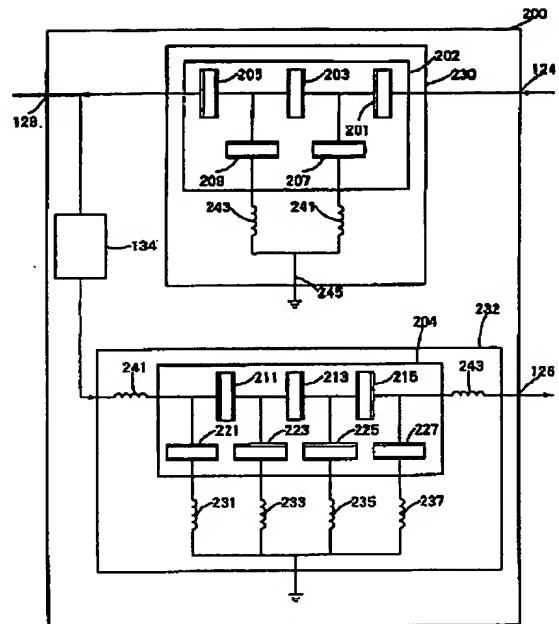
【図 2】



【図 5】



【図 4】



フロントページの続き

(71)出願人 399117121
395 Page Mill Road P
alo Alto, California
U. S. A.

(72)発明者 ジョン・ディー・ラーソン・サード
アメリカ合衆国 カリフォルニア州, パ
ロ・アルト (番地なし)

(72)発明者 リチャード・シー・ルビー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州, メン
ロ・パーク (番地なし)